

# PLAFONDS FROIDS ET INTRODUCTION D'AIR LAMINAIRE

*P. Pepinster*

Division ST – Groupe Technical Facilities Management (ST/TFM)  
CERN, Genève, Suisse

## Résumé

Dès le milieu des années 1980, on a pu observer une tendance à l'augmentation des charges thermiques internes dans les bâtiments administratifs, principalement due à l'arrivée de l'informatique et de la bureautique. Cet accroissement de charges a finalement atteint un record de  $100 \text{ W/m}^2$  fin des années 80 pour se stabiliser en règle générale entre 50 et  $70 \text{ W/m}^2$ . Traditionnellement, c'est le renouvellement d'air refroidi et insufflé dans les locaux qui combat les apports calorifiques, et le débit d'air pulsé est proportionnel aux charges à évacuer. Cette augmentation des charges a donc généré des vitesses de circulation d'air résiduelles insatisfaisantes pour le confort des occupants, et les ingénieurs en climatisation ont dû revoir la technologie appliquée jusqu'alors. Ce document présente les techniques actuelles qui permettent de satisfaire à l'exigence d'absence de courant d'air aux places de travail, et ainsi assurer le bien-être humain dans le domaine climatique.

## 1 INTRODUCTION

L'idée d'utiliser l'eau froide pour assurer le refroidissement des bâtiments est fort ancienne. En effet, des chercheurs de l'université d'HEIDELBERG ont découvert au Kurdistan turc les restes d'un village remontant au 7<sup>ème</sup> millénaire avant J.C. avec des systèmes de canalisations dans le sol en pierre, alimentés par l'eau froide d'un torrent proche.

Cette technique est appliquée de nos jours dans la climatisation par plafonds froids. Elle est la plus confortable qui soit pour les utilisateurs, a fortiori lorsqu'elle est complétée par un système de renouvellement d'air à introduction laminaire.

## 2 PLAFONDS FROIDS

### 2.1 Intérêt du système

La technique des plafonds froids, après avoir subi un déclin dans les années 1960, a connu un regain d'intérêt il y a une dizaine d'années dans les pays scandinaves. Dans ces pays, la ventilation est généralement réalisée avec des débits d'air importants de l'ordre de 2 ou 3 volumes / heure. Dans ces conditions, il n'est possible d'assurer, par refroidissement de l'air soufflé, que des puissances frigorifiques limitées à  $20/30 \text{ W/m}^2$ . En effet, le débit d'air pulsé est proportionnel aux charges thermiques à évacuer selon la formule:

$$Q_{\text{volume}} = \frac{\sum \text{apports sensibles}}{0.245 \times 1.18 \times (T_{\text{pulsion}} - T_{\text{ambiante}})} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1)$$

$$\text{Avec: } T_{\text{pulsion}} > T_{\text{rosée}} \text{ et } 15^\circ\text{C} < T_{\text{rosée}} < 19^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$0.245 = \text{Chaleur spécifique de l'air humide} - [\text{kcal} / ^\circ\text{C} \cdot \text{kg}]$$

$$1.18 = \text{Poids spécifique de l'air humide} - [\text{kg} / \text{m}^3]$$

La température de pulsion ne doit pas descendre sous une valeur minimum égale à la température de rosée ambiante pour éviter tout phénomène de condensation sur les parois froides. De ce fait, l'augmentation des apports thermiques, tels que ceux ( $50$  à  $70 \text{ W/m}^2$ ) dus à l'apparition de la Bureautique dans les années 1980, entraîne des vitesses de circulation d'air excessives. La Figure 1 montre dans quelle mesure l'insatisfaction des utilisateurs grandit lorsque la vitesse d'air ambiante augmente, pour une température ambiante donnée.

L'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur pour refroidir les surfaces des locaux (plafonds) peut dès lors apparaître comme une solution de remplacement séduisante. Elle l'est d'autant plus que le refroidissement par eau nécessite environ 330 fois moins d'énergie que le refroidissement par air et que, à encombrement égal, l'eau peut transporter environ 700 à 800 fois plus d'énergie que l'air.

## 2.2 Fonctionnement général

En principe, un plafond rafraîchissant n'est pas très différent d'un radiateur à tubes ou à plaques chauffantes. De l'eau froide circule dans les éléments refroidissant la surface visible du plafond. Chaque élément est raccordé en parallèle au collecteur général d'eau froide pour induire une distribution homogène de température superficielle du plafond (Fig.2).

Les éléments plafonniers modulaires absorbent la chaleur par échange de rayonnement et de convection (Fig.3).

L'air chaud arrivant au contact de la surface fraîche du plafond est refroidi au-dessous de la température moyenne du local pour redescendre à basse vitesse dans la zone d'occupation.

La température ambiante est captée par un thermostat. En cas d'écart par rapport à la valeur de consigne, on fait varier la température de l'eau ou son débit. La température de surface s'adapte ainsi aux besoins du local. C'est le point de rosée de l'air ambiant qui détermine la température minimale admissible de l'eau froide (entre  $16$  et  $19^\circ\text{C}$ ).

Le système global *doit encore être complété par une alimentation d'air traité*. Elle permet, tout en apportant *l'air neuf hygiénique requis*, d'évacuer une partie de la chaleur excédentaire d'une part, et de déshumidifier l'ambiance d'autre part.

## 2.3 Présentation des systèmes existants

### 2.3.1 Les systèmes statiques

Les systèmes statiques utilisent le principe du rayonnement et de la convection naturelle entre un circuit d'eau intégré au plafond et l'air ambiant.

Il existe deux familles de «plafonds statiques»: ceux à *surface d'échange horizontale* et ceux à *surface d'échange verticale* (Fig.4):

- dans la première, le flux d'air ascendant chaud et naturel protège l'individu de l'air froid de convection descendant. Le rafraîchissement *par rayonnement* est prépondérant.
- Dans la seconde, qui s'apparente à des convecteurs plafonniers, l'air ambiant se refroidit au contact des ailettes. Du fait de son augmentation de densité, il tombe verticalement dans le local. La *convection* descendante domine, grâce à l'orientation des ailettes et à la plus grande surface d'échange. Il en résulte une possible diminution du confort par l'apparition de courants d'air froid.

En été, de l'eau rafraîchie ( $16^\circ\text{C}$ ) circule dans les tubes. Le système est réversible et peut être alimenté en eau chaude ( $30^\circ\text{C}$ ) en hiver. Les puissances absorbées varient en fonction des systèmes retenus (*de*  $40$  à  $80 \text{ W/m}^2$ ). Avec de tels niveaux de puissance, et selon l'utilisation des locaux, un complément de froid sur l'introduction d'air neuf peut s'avérer nécessaire.

Ces systèmes sont totalement silencieux et offrent une qualité de confort particulière du fait de l'absence de brassage d'air et de l'homogénéité de température dans la pièce.

### 2.3.2 Construction et performances

Du point de vue construction, on rencontre différentes solutions aux performances variables. Les puissances annoncées par les fabricants sont généralement données pour un écart de température de 10°C entre l'eau et l'air:

- pour les plafonds statiques à surface d'échange horizontale (rayonnants):
  - La *dalle active* est constituée d'une grille de tubes en matière plastique, noyée en partie basse de la dalle de plancher (Fig.5). Elle offre la possibilité de stockage nocturne, mais l'impossibilité de maîtriser le risque de condensation en cas de remontée rapide de l'humidité de l'air dans le local. La puissance est d'environ 60 W/m<sup>2</sup>.
  - Les *nattes en tubes capillaires plastiques* sont composées de tubes en polypropylène de petit diamètre (diamètre intérieur = 2mm). Ils sont groupés en nattes couchées sur les plaques constituant le parement du plafond suspendu et sont parcourus par de l'eau rafraîchie (Fig.6). Une couche d'isolant minéral placée au-dessus limite les déperditions vers le haut. Une variante consiste à noyer les nattes dans le crépi de finition de la dalle, ce qui est avantageux en cas de manque de hauteur de local. La puissance frigorifique est d'environ 50 W/m<sup>2</sup> dans le premier cas et atteint 90 W/m<sup>2</sup> dans le second.
  - Les *plafonds en profilés d'aluminium* extrudé, avec tube cuivre rapporté ou clipsé sur le panneau (Fig.7), sont assez peu répandus à cause de leur prix de vente élevé. Ils délivrent une puissance de l'ordre de 90 W/m<sup>2</sup>.
- pour les plafonds statiques à surface d'échange verticale (convectifs):
  - Le *plafond à effet convectif renforcé* (Fig.8), est composé de tubes parcourus par de l'eau froide et sur lesquels sont serties des ailettes inclinées (pour limiter la réduction des échanges radiatifs). D'une puissance surfacique élevée (150 W/m<sup>2</sup>), ils sont d'un rapport coût / puissance intéressant et sont bien adaptés aux plafonds à claire-voie.
  - Les *poutres froides convectives* (Fig. 9) sont des batteries à ailettes de grande longueur suspendues aux plafonds des locaux. Elles peuvent être dissimulées en faux plafond ajouré ou rester apparentes avec adjonction d'un carénage métallique. La puissance frigorifique varie de 75 à 200 W/ml (watt par mètre linéaire).

## 2.4 Les systèmes dynamiques (poutres froides inductives)

Les poutres froides à induction assurent, à la fois, la distribution d'air neuf dans le local et la climatisation.

Elles sont constituées d'une batterie ailettée longue (Fig.10), accolée sur toute sa longueur à un caisson dans lequel circule le débit d'air neuf (débit = 2.5 volume / heure). Des orifices répartis de part et d'autre de ce caisson assurent le soufflage de l'air neuf et créent par induction un mouvement de convection autour des batteries froides.

La convection peut être réglée en fonction du débit d'air introduit dans la poutre: plus ce débit est important et plus la puissance émise s'accroît. Une poutre d'une longueur de 3 m peut absorber une puissance comprise entre 850 W et 1000 W.

Le principal intérêt de ces poutres est qu'elles peuvent assurer la fourniture de froid et d'air neuf sans emprise au sol et avec un débit plus faible que dans le système tout air.

### 3 VENTILATION PAR DEPLACEMENT D'AIR

#### 3.1 Intérêt du système

L'introduction d'air neuf traité dans les locaux équipés de plafonds froids trouve une justification triple:

- satisfaire aux conditions normales d'hygiène,
- maîtriser l'humidité ambiante pour éviter le risque de condensation sur les parties froides,
- évacuer une partie de la chaleur excédentaire dans les conditions extrêmes.

Les plafonds refroidisseurs ont été développés pour obtenir le meilleur confort possible. Il ne faut pas que l'introduction d'air neuf, telle qu'elle se réalisait jusqu'à présent, vienne contrecarrer ce résultat. Une répartition de l'air neuf selon le système *par déplacement à basse vitesse* peut maintenir, et même améliorer, le confort obtenu par les plafonds froids.

#### 3.2 Ventilation par mélange d'air

Dans ce système traditionnel, l'air neuf est introduit dans le local en dehors de la zone d'occupation, c'est à dire à proximité du plafond. L'air est pulsé à une vitesse relativement élevée et mélangé avec l'air ambiant déjà pollué (car en partie haute du local), pour atteindre une vitesse et une température acceptables dans la zone de confort.

#### 3.3 Ventilation par déplacement (dite aussi par lac thermique ou introduction laminaire)

Toute source de chaleur crée un débit convectif ascendant d'air chaud et pollué appelé «panache».

Le principe de ventilation par déplacement est basé sur cette constatation. Il consiste à introduire en partie basse d'un local, un débit d'air frais équivalent à la somme des débits convectifs induits par les sources chaudes: personnes, luminaires, ordinateurs, etc.

Cet air frais, de 3 à 5°C inférieur à la température ambiante, pousse littéralement les panaches vers l'extraction située en partie haute du local.

Il se crée alors dans le local trois zones distinctes (Fig.10):

- *la zone d'air neuf* au niveau du sol,
- *la zone moyenne ou zone d'occupation*, dans laquelle la température moyenne est la température ambiante. La concentration de polluants représente environ le tiers de celle à l'extraction du local,
- *une zone chaude et polluée* située en partie haute du local.

Ce procédé crée dans la zone d'occupation un gradient de température qui, pour des raisons de confort, ne doit guère dépasser 2°C/m. L'introduction de ce gradient permet au système de traiter les mêmes charges qu'un système par mélange, tout en ayant une température de soufflage supérieure.

Comme le montre la Figure 11, ce système de ventilation est parfaitement complémentaire avec le rafraîchissement par plafond froid, dans la mesure où la combinaison des deux techniques permet d'obtenir l'homogénéité de température dans le local.

### 4 CONCLUSION

La technique du «*tout soft*», qui vient d'être présentée, a vu le jour en Scandinavie, où une part importante des installations neuves de climatisation est réalisée avec des plafonds froids, le plus souvent associés à la technique de ventilation par déplacement. Cette technique s'est ensuite développée de manière importante aux Pays-Bas, en Suisse et en RFA.

Dans ces deux derniers pays, elle semble sur le point de supplanter les techniques traditionnelles en raison de ses qualités intrinsèques:

- haut niveau de confort acoustique,
- encombrement au sol réduit,
- performances énergétiques,
- élimination des problèmes liés au soufflage de l'air.

Au CERN, des projets de rafraîchissement de bureaux ont été réalisés par *nattes capillaires* (310 m<sup>2</sup> de plafonds froids au bâtiment 864 en 1994), et par *poutres convectives* dans certaines salles de réunion du bâtiment des Physiciens / 40. Une autre réalisation, prévue pour juin 1998, verra le rafraîchissement par *poutres inductives* des 360 m<sup>2</sup> des salles CAO du bâtiment 376.

## REFERENCES

- [1] Marc Demolière, Plafonds froids et introduction d'air laminaire, ISO ENERGIES SA, Mars 1997.
- [2] P.O. Fanger, A.K. Melikov, H. Hanzawa, J. Ring, Turbulence and draft, ASHRAE Journal, Avril 1989.
- [3] Yugo Li, Mats Sandberg and Lazlo Fuchs, Vertical temperature profiles in rooms ventilated by displacement: full scale measurement and nodal modelling, Indoor Air 1992 – p.225-243.
- [4] Dominique Bienfait et Christian Feldmann, Revue PROMOCLIM, Tome 25 n°6, La climatisation par plafonds rafraîchissant, Octobre / Novembre 1994.
- [5] Olivier Lesniewsky, Revue CLIM – CHAUFFAGE – CONFORT, La ventilation par déplacement, n°5/96, Avril 1996.
- [6] Revue CLIM pratique, Exemples d'installations: émetteurs à régime élevé de température d'eau, n°6/97, Octobre 1997.
- [7] Manuel CARRIER, Bilan thermique, Février 1991.

POURCENTAGE DES PERSONNES INSATISFAITES A CAUSE  
DES COURANTS D'AIR DANS LES LOCAUX

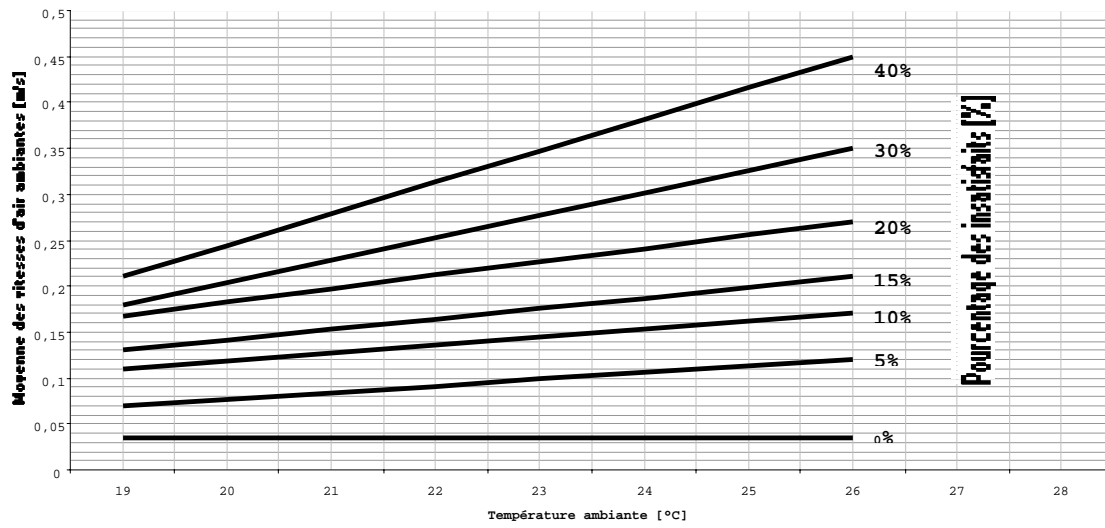


Fig. 1 Insatisfaction due aux courants d'air.

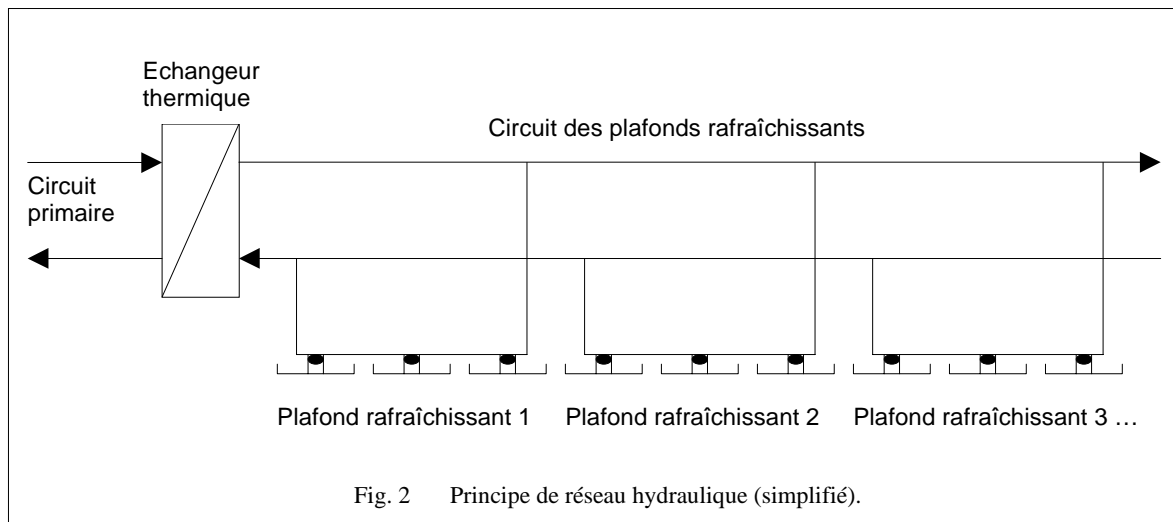


Fig. 2 Principe de réseau hydraulique (simplifié).

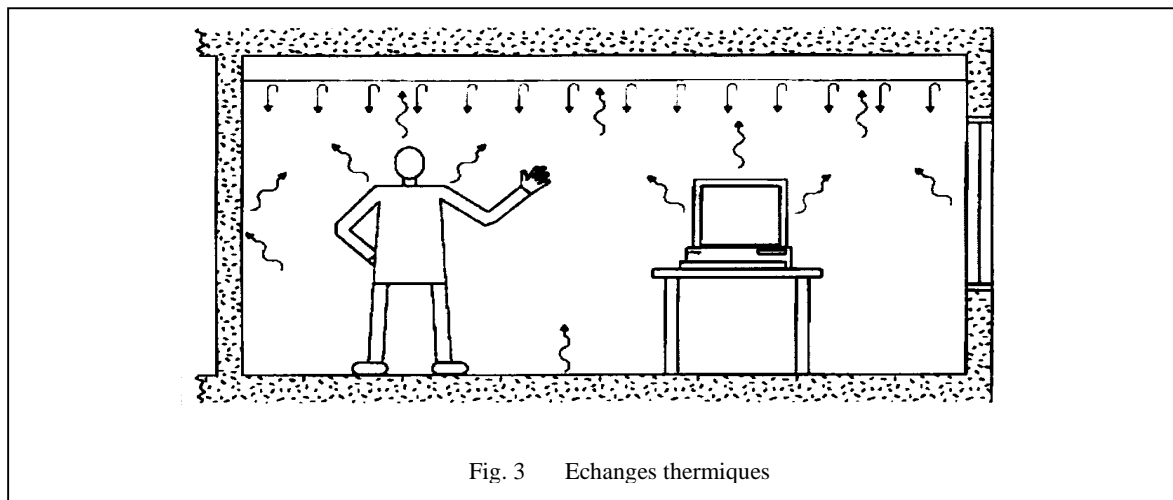
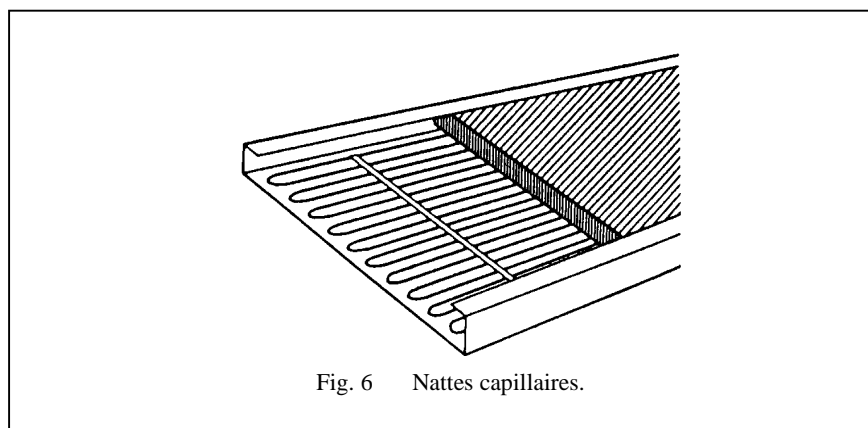
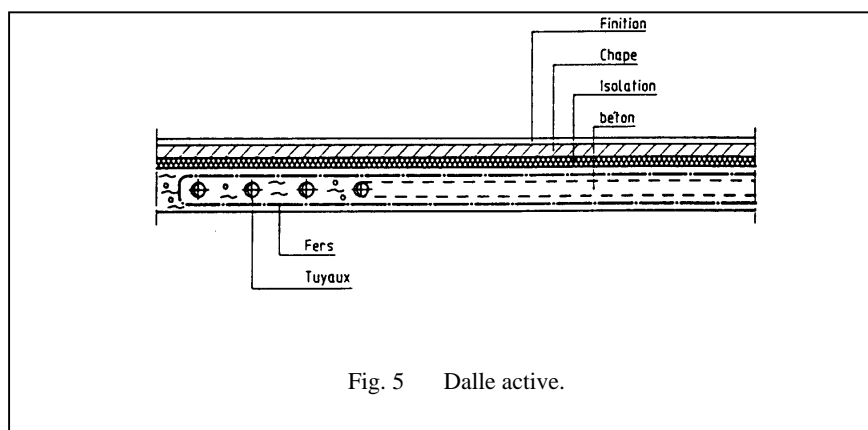
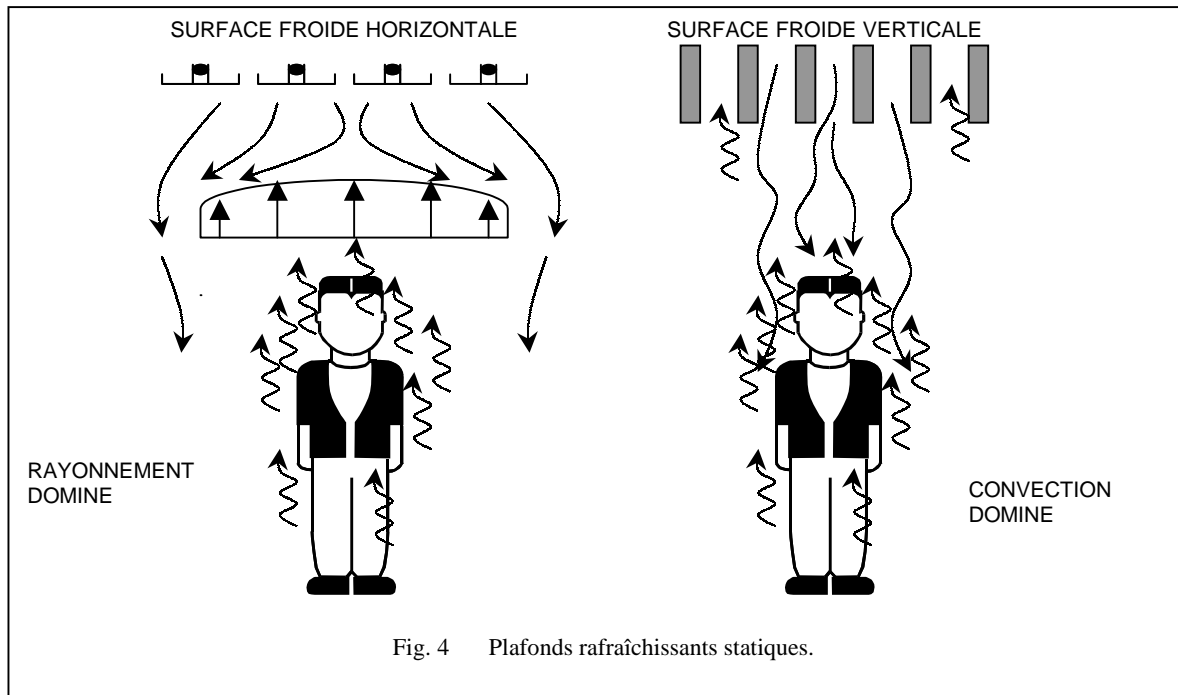
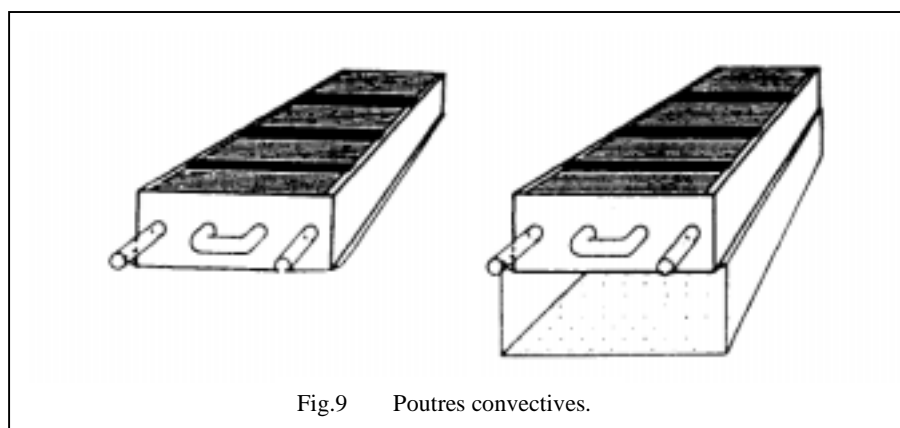
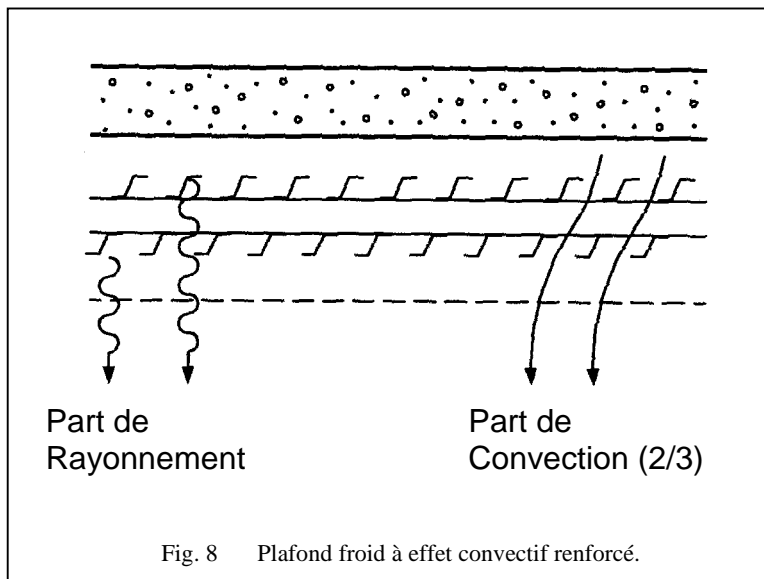
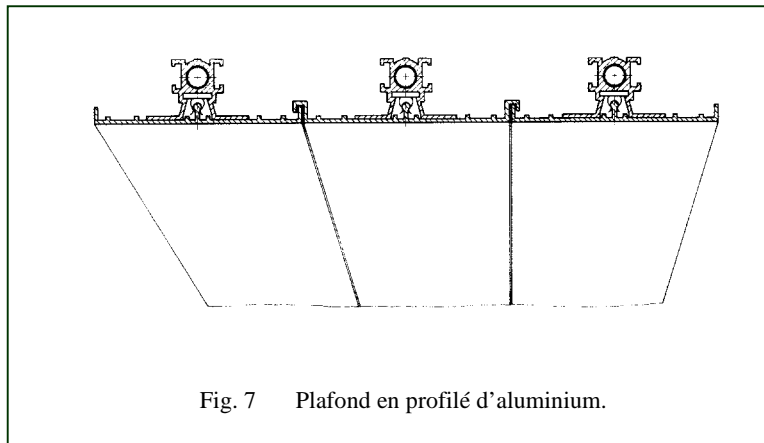
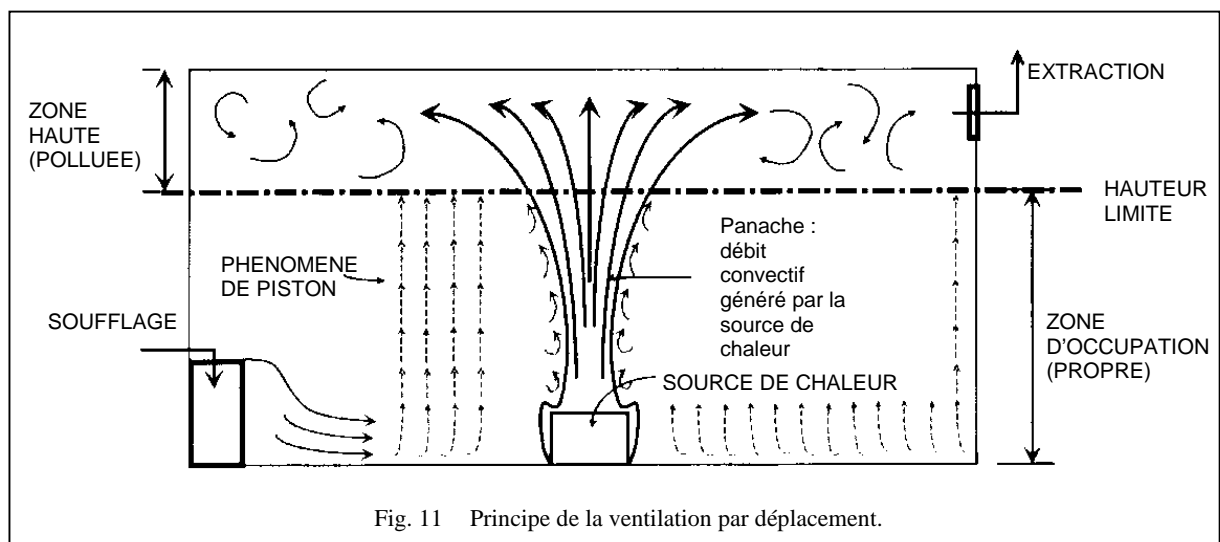
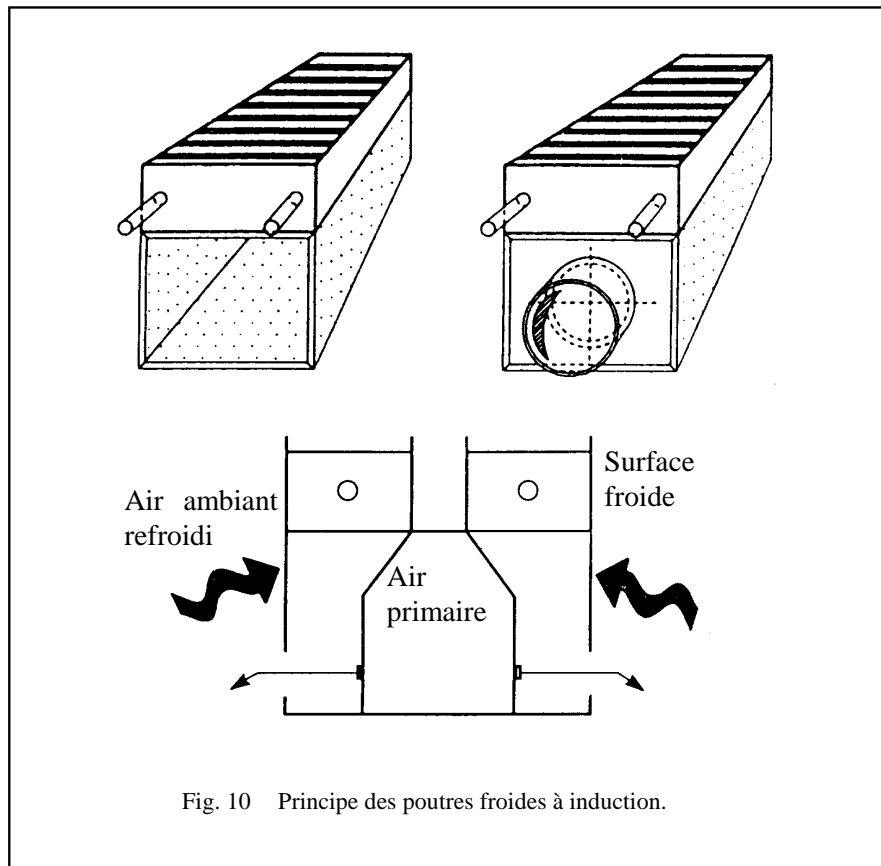


Fig. 3 Echanges thermiques









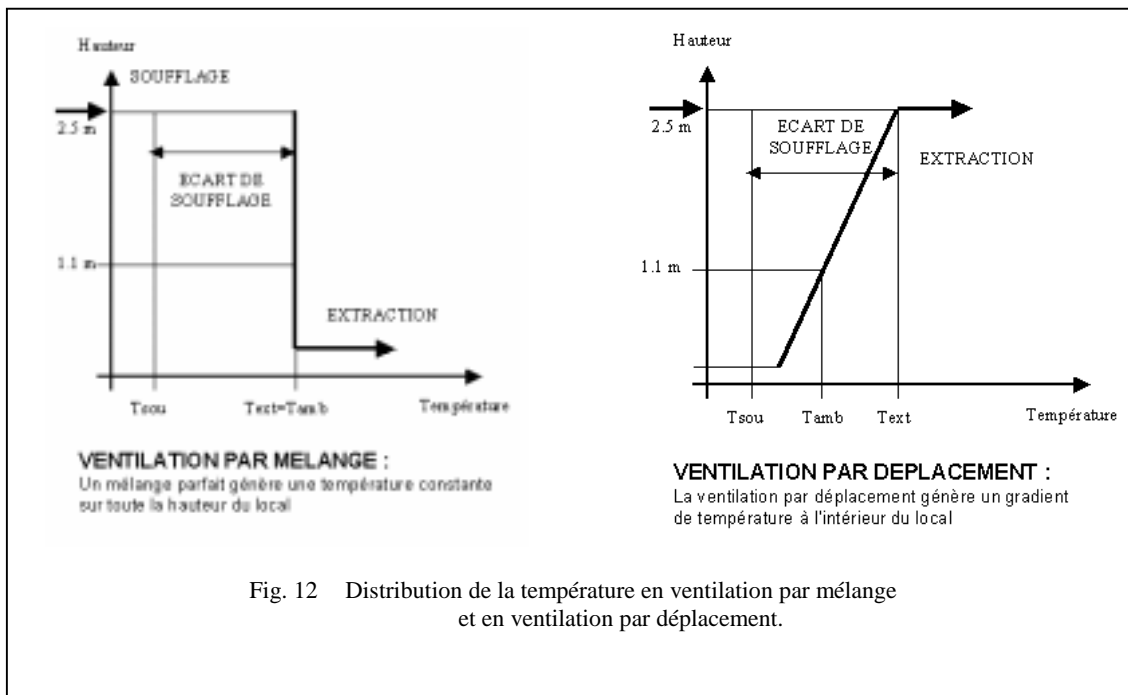


Fig. 12 Distribution de la température en ventilation par mélange et en ventilation par déplacement.

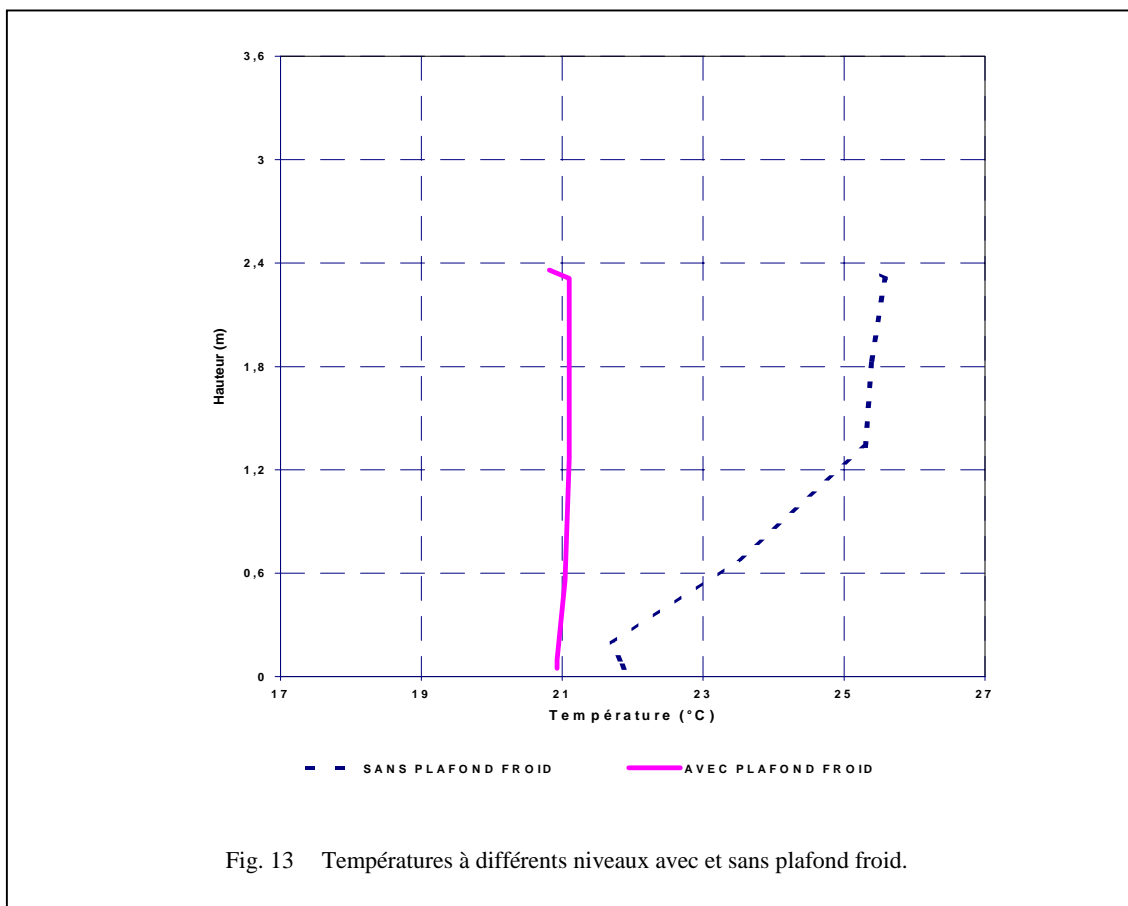


Fig. 13 Températures à différents niveaux avec et sans plafond froid.